



AP1000

核电厂电气系统初级运行



章金平 陈伦寿 缪亚民 主 编
吴元明 副主编

中国核工业集团公司 编

中国原子能出版传媒有限公司

AP1000 核电厂电气系统 初级运行

主 编 缪亚民

副主编 章金平 陈伦寿 吴元明

中国原子能出版传媒有限公司

图书在版编目(CIP)数据

AP1000 核电厂电气系统初级运行/缪亚民主编. —北京:
中国原子能出版传媒有限公司, 2011. 3
ISBN 978-7-5022-5173-4

I. ①A… II. ①缪… III. ①核电厂—电气系统—运
行 IV. ①TM623. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 031104 号

内 容 简 介

《AP1000 核电厂电气系统初级运行》主要依据 AP1000 相关技术文件并参考《AP1000 核电站系统与设备》编写而成,主要介绍了厂内外电源系统、主发电系统和电气其它系统,最后并阐述了主泵变频器 and 厂用电切换等专题。方便读者加深对电气系统和电气设备知识的理解,掌握电气系统与工艺系统紧密联系,从而确保电站稳定安全运行。

本书可用作 AP1000 电站运行值班员和专业工程师的自学和理论培训读本,也可作为其他工程技术人员参考书。

AP1000 核电厂电气系统初级运行

出版发行 中国原子能出版传媒有限公司(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张 琳

技术编辑 丁怀兰 王亚翠

责任印制 潘玉玲

印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 8.25 字 数 201 千字

版 次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-5173-4 定 价 42.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

中国核工业集团公司 核电培训教材编审委员会

总 编 孙 勤
副 总 编 余剑锋 叶奇蓁

编辑委员会

主 任	陈 桦					
副 主 任	程慧平	孙习康	张 涛			
委 员	仲卫东	刘志勇	马明泽	戚屯锋	邹正宇	
	顾颖宾	商幼明	缪亚民	赵 云	葛政法	
	周建虎	李苏甲	杨树录	李和香	段光荣	

执行编委

谢 波	马寅军	王晓波	叶丹萌	莫银良
高小林	鲁忆迅	唐锡文	谢先林	蔡黎勇
修卫彬	刘 朔	肖 武	刘玉山	

编委会办公室

姜福明	朱 黎	张红军	吴国安	程建秀
宫育锋	章 超	丁怀兰	黄 芳	戴 兵
廖昌斌	方朝霞	沈 阳	王亚翠	

《AP1000 核电厂电气系统初级运行》

编 辑 部

主 编 缪亚民

副 主 编 章金平 陈伦寿 吴元明

编 写 金 毅

校 对 陈 睿 单水英 戴文韬

田立国 王 炜

统 审 赵立东 李淑均

总 序

核工业作为国家高科技战略性产业,是国家安全的重要基石、重要的清洁能源供应,以及综合国力和大国地位的重要标志。

1978年以来,我国核工业第二次创业。中国核工业集团公司走出了一条以我为主发展民族核电的成功道路。在长期的核电设计、建造、运行和管理过程中,积累了丰富的实践和理论经验,在与国际同行合作过程中,实现了技术和管理与国际先进水平相接轨,取得了骄人的业绩。

中国核工业集团公司在三十多年的核电建设中,经历了起步、小批量建设、快速发展三个阶段。我国先后建成了秦山、大亚湾、田湾三大核电基地,实现了我国大陆核电“零”的突破、国产化的重大跨越、核电管理与国际接轨,走出了一条以我为主,发展民族核电的成功之路。在最近几年中,发展尤为迅猛。截至2008年底,核电运行机组11台,装机容量907.82万千瓦,全部稳定运行,态势良好。

进入21世纪,党中央、国务院和中央军委对核工业发展高度重视、极为关怀,对核工业做出了新的战略决策。胡锦涛总书记指出:“无论从促进经济社会发展看,还是从保障国家安全看,我们都必须切实把我国核事业发展好。”发展核电是优化能源结构、保障能源安全、满足经济社会发展需求的重要途径。2007年10月,国务院正式颁布了《核电中长期发展规划(2005—2020年)》。核电进入了快速、规模化、跨越式发展的新阶段。

在中国核电大发展之际,中国核工业集团公司继续以“核安全是核工业的生命线”的核安全文化理念和“透明、坦诚和开放”的企业管理心态,以推动核电又好又快又安全发展为己任,为加速培养核电发展所需的各类人才,组织核电领域专家,全面系统地对核电设计、工程建造、电站调试、生产准备和生产运营等各阶段的知识进行了梳理,构造了有逻辑性、系统性的核电知识体系,形成了覆盖核电各阶段的核电工程培训系列教材。

这套教材作为培养核电人才的重要工具,是国内目前第一套专业化、体系化、公开出版的核电人才培养系列教材,有助于开展培训工作,提高培训质量、节约培训成本,夯实核电发展基础。它集中了全集团的优势,突出高起点、实用性强,是集团化、专业化运作的又一次实践。是中国核工业 50 余年知识管理的积淀,是中国核工业 10 万人多年总结和实践经验的结晶。

21 世纪是“以人为本”的知识经济时代,拥有足够的优秀人才是企业持续发展的重要基础。中国核工业集团公司愿以这套教材为核电发展开路,为业界理论探讨、实践交流提供参考。

我们要继续以科学发展观为指导,认真贯彻落实党中央、国务院的指示精神,积极推进核电产业发展。特别是要把总结核电建设经验作为一项长期的工作来抓,不断更新和完善人才教育培训体系。

核电培训系列教材可广泛用于核电厂人员培训,也可用于核电管理者的学习工具书,对于有针对性地解决核电厂生产实践和管理问题具有重要的参考价值。

中国核工业集团公司总经理

Handwritten signature of Sun Li in black ink.

2009 年 9 月 9 日

前 言

为了贯彻三门核电有限公司“育才·成才”的战略方针,适应三门核电 AP1000 工程建设的进展,满足公司人员培训学习的需求,在继《AP1000 核电厂系统与设备》编写完成之后,公司组织编写了又一关于系统方面的培训教材。本套丛书分为四本,分别为《AP1000 核电厂核岛系统初级运行》、《AP1000 核电厂常规岛系统初级运行》、《AP1000 核电厂电气系统初级运行》和《AP1000 核电厂外围系统初级运行》(下文分别简称为《核岛篇》、《常规岛篇》、《电气篇》和《外围篇》)。

丛书主要依据 AP1000 相关技术文件并参考《AP1000 核电厂系统与设备》编写而成。丛书图文并茂,覆盖面广,文字通俗易懂,是一套适用性、针对性较强的技术培训读本。本丛书主要用作 AP1000 电站运行值班员和专业工程师的自学和理论培训读本,也可作为其他工程技术人员的参考书。

《核岛篇》主要介绍了一回路及其辅助系统、专设安全设施、HVAC 和放射性废物处理系统。《常规岛篇》主要介绍了二回路水汽循环、汽轮发电机辅助系统和常规岛辅助系统。《电气篇》主要介绍了厂内外电源系统、主发电系统和电气其他系统,最后并阐述了主泵变频器和厂用电切换等专题。《外围篇》主要介绍了厂址废物处理设施(SRTF)、海水淡化和除盐水制备及分配等水处理系统、辅助蒸汽供应和电厂气体等电厂其他支持系统的相关知识。

在丛书的编制过程中,公司领导给予了极大的关注,04 级和 05 级预备操纵员也对丛书提出了许多宝贵的建议,在此一并表示感谢。这套丛书在编写的体系和内容组织方面作了一些新的尝试,加之时间仓促和编者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 6 月

目 录

第一章 电气概述

1.1 AP1000 电气系统综述	1
1.1.1 AP1000 电气系统简介	1
1.1.2 厂外电源系统	1
1.1.3 厂内交流系统	1
1.1.4 厂内直流系统和 UPS 系统	2
1.1.5 厂内柴油机	2
1.2 厂用电压等级和电气标识	2
1.2.1 电压等级	2
1.2.2 电气标识	2
1.3 电气设备主接线	5
1.4 继电保护基础	6
1.4.1 继电保护基本原理	6
1.4.2 对继电保护装置的基本要求	7
1.4.3 主保护、后备保护、辅助保护和异常运行保护	7
1.4.4 若干保护原理简介	7
1.4.5 自动重合闸	10
复习思考题	11

第二章 厂外电源系统

2.1 概述	12
2.2 500 kV 电气子系统	14
2.2.1 系统概述	14
2.2.2 系统描述	14
2.2.3 主要设备	15

2.2.4	系统运行	18
2.2.5	系统保护	19
2.2.6	技术参数	20
2.3	220 kV 电气子系统	21
2.3.1	系统功能	21
2.3.2	系统描述	21
2.3.3	主要设备	21
2.3.4	系统运行	22
2.3.5	系统保护	23
2.3.6	技术参数	23
	复习思考题	23

第三章 厂内电源系统

3.1	主交流电源系统(ECS)	24
3.1.1	基础知识	24
3.1.2	系统功能	24
3.1.3	系统组成	25
3.1.4	系统简图	26
3.1.5	系统描述	26
3.1.6	主要设备	28
3.1.7	系统运行	29
3.1.8	厂用电切换	29
3.1.9	ECS 系统继电保护	30
3.1.10	技术参数	34
3.1.11	ECS 开关类型分类	34
3.2	厂内备用电源系统(ZOS)	34
3.2.1	系统功能	34
3.2.2	系统描述	34
3.2.3	系统组成	34
3.2.4	主要设备	36
3.2.5	系统运行	37
3.2.6	保护和控制	37
3.2.7	技术参数	43

3.3 1E 级直流和 UPS 系统 (IDS)	43
3.3.1 基础知识	43
3.3.2 直流系统接地	44
3.3.3 逆变器和不间断电源 UPS	44
3.3.4 概述	45
3.3.5 系统功能	45
3.3.6 系统描述	46
3.3.7 系统组成	47
3.3.8 主要设备	51
3.3.9 系统运行	52
3.3.10 保护和控制	52
3.3.11 技术参数	53
3.4 非 1E 级直流和 UPS 系统 (EDS)	53
3.4.1 系统功能	53
3.4.2 系统描述	54
3.4.3 主要设备	54
3.4.4 系统运行	57
3.4.5 保护和控制	58
3.4.6 技术参数	58
复习思考题	59

第四章 主发电系统

4.1 主发电系统 (ZAS)	60
4.1.1 基础知识	60
4.1.2 系统功能与组成	64
4.1.3 系统运行	64
4.1.4 发电机	65
4.1.5 主变压器 (MSUT), 厂变压器 (UAT), 辅助变压器 (RAT)...	70
4.1.6 发电机出口断路器 (GCB)	71
4.1.7 离相封闭母线 (IPB)	71
4.1.8 保护	72
4.1.9 同期并网系统原理及控制	79
4.2 励磁和电压调节系统 (ZVS)	81

4.2.1	基础知识	81
4.2.2	系统描述	82
4.2.3	系统介绍	82
4.2.4	主要设备	85
4.2.5	系统运行	86
4.2.6	主要技术参数	90
复习思考题		90

第五章 电气其他系统

5.1	接地和防雷系统(EGS)	91
5.1.1	系统功能	91
5.1.2	系统描述	91
5.1.3	系统组成	91
5.1.4	技术参数	93
5.1.5	设备布置	93
5.1.6	防雷(BOP)	94
5.2	电厂照明系统(ELS)	94
5.2.1	系统概述	94
5.2.2	核岛照明系统	94
5.2.3	系统描述	94
5.2.4	常规岛照明系统	96
5.3	特殊工艺热跟踪系统(EHS)	96
5.3.1	系统功能	96
5.3.2	系统描述	96
5.3.3	系统运行	97
5.4	棒控电源机组	98
5.4.1	概述	98
5.4.2	系统简图	98
复习思考题		99

第六章 专 题

6.1 变频器	100
6.1.1 概述	100
6.1.2 变频器的分类	101
6.1.3 主泵变频器	103
6.2 厂用电切换	109
6.2.1 概述	109
6.2.2 快速切换、同期捕捉切换、残压切换原理	111
6.2.3 我厂中压母线切换逻辑	113
6.3 阀门供电原则	116
复习思考题	117

第一章 电气概述

1.1 AP1000 电气系统综述

1.1.1 AP1000 电气系统简介

AP1000 电气系统可分为厂外电源系统和厂内电源系统。厂外电源分为 500 kV 开关站和 220 kV 辅助电源系统。厂内电源包括:主交流电系统(ECS)、厂内备用电源系统(ZOS)、1E 级直流和 UPS 系统(IDS)、非 1E 级直流和 UPS 系统(EDS)、主发电系统(ZAS)、励磁和电压调节系统(ZVS)。

厂内配电系统设置遵照的原则:

(1) 第一层:交流配电系统向单元机组运行所需的非安全相关负载供电,即 ECS、ZBS 等系统。

(2) 第二层:交流和非 1E 级直流和 UPS 配电系统向永久非安全相关负载供电,即 EDS、ZOS 等系统。

(3) 第三层:1E 级直流和 UPS 配电系统向安全相关负载供电,即 IDS 系统。

1.1.2 厂外电源系统

500 kV 系统为优先电源,开关站 GIS 设备采用一个半断路器接线方式;220 kV 系统为辅助电源,开关站 GIS 设备采用双母线带母联开关的接线方式。所有的 GIS 设备均布置在室内。

每台机组设置两台厂变压器和两台辅助变压器,正常运行时由厂变压器向厂内 10.5 kV 中压母线供电,辅助电源对厂内 10.5 kV 的中压母线切换方式有快速,残压和手动切换。

1.1.3 厂内交流系统

厂内交流电源系统是非 1E 级系统,由正常电源、优先电源、辅助电源和备用电源提供。其中正常电源,优先电源和辅助电源构成了主交流电源系统(ECS)。ECS 的额定电压等级为 10.5 kV、400 V、380 V 和 220 V。

10.5 kV 为中压交流配电系统。三门核电厂 1 号 AP1000 机组共设置 8 段 10.5 kV 的母线。其中 4 条布置在常规岛厂房(ECS-ES-3、ECS-ES-4、ECS-ES-5、ECS-ES-6),两条布置在核岛/附属厂房(ECS-ES-1、ECS-ES-2)。另外两条为 1 号机组的辅助锅炉供电(ECS-ES-7、ECS-ES-8)。两台 10.5 kV 的厂内备用柴油发电机连接在 ECS-ES-1、ECS-ES-2 上。

400 V 为低压交流配电系统。400 V 交流负荷中心向低压电机(功率大于 75 kW 小于 186 kW)和 380 V 电机控制中心提供电源。380 V 交流电机控制中心向不直接从 400 V 负



荷中心供电的电机,电动阀门提供电源。220 V 交流配电盘向低压各类负荷供电,如维修负、单元加热器、房间加热器,照明系统。

1.1.4 厂内直流系统和 UPS 系统

厂内直流系统由 1E 级直流和 UPS 系统(IDS)和非 1E 级直流和 UPS 系统(EDS)组成。

1E 级直流和 UPS 系统(IDS)的直流电压等级为 250 V。设置 A、B、C、D、S 五列蓄电池组。其中 A、D 列为 24 h 蓄电池组,B、C 各含有一列 24 h 蓄电池组和一列 72 h 蓄电池组。S 为备用蓄电池组,可以在 A、B、C、D 任何一列失效的情况下进行替换。不间断电源(UPS)的电压等级为交流 220 V,也设置四列 A、B、C、D。其中 A、D 列各包含一个逆变器和一个旁路调压变压器构成,B、C 列各包含两个逆变器和一个旁路调压变压器。

非 1E 级直流和 UPS 系统(EDS)的直流电压等级为 220 V。不间断电源(UPS)的电压等级为交流 220 V。

1.1.5 厂内柴油机

三门核电厂 1 号 AP1000 机组设置两台交流 10.5 kV 的厂内备用柴油发电机和两台交流 400 V 的低压辅助柴油发电机,都为非 1E 级设备。

两台 10.5 kV 的厂内备用柴油发电机连接在核岛/附属厂房中压母线 ECS-ES-1,ECS-ES-2,当失去正常电源,优先电源和辅助电源时,按程序带载与电站顺序停堆重要相关的负荷。

两台 400 V 非 1E 级辅助交流柴油发电机,在失去其他交流电源 72 小时后为 1E 级事故后监测系统、主控室照明、主控室和仪表控制室通风、非能动安全壳冷却系统再循环泵提供电源。

1.2 厂用电压等级和电气标识

1.2.1 电压等级

交流电压等级:发电机出口电压 24 kV;10.5 kV 中压交流电源;380 V 低压交流电源(包括负荷中心 LC 和电机控制中心 MCC);220 V 低压交流电源;220 V 1E 级 UPS 电源;220 V 非 1E 级 UPS 电源。

直流电压等级:250 V 1E 级直流电源;220 V 非 1E 级直流电源。

1.2.2 电气标识

电气设备标识由四段代码组成:分别是电站识别码、分类码、类型码、序列码,例如,图 1-2-1 表示 2 号母线的 1 号 400 V 交流负荷中心。交流、直流设备的两字编码见表 1-2-1 和表 1-2-2,电气功能编码见表 1-2-3。



图 1-2-1 400 V 交流负荷中心编码

表 1-2-1 交流电源设备两字编码

类型码	设备类型	类型码	设备类型
EA	220 V 交流配电盘	EN	绝缘/防火
EB	母线导管和支撑	EP	就地控制站
EC	电机控制中心	EQ	阴极保护
ED	380 V 交流配电盘	ER	电缆路径
EE	电子设备、多路转接器和光纤设备	ES	中压母线
EF	通讯和远程通信设备	ET	变压器
EG	接地和防雷	EU	模块
EH	热跟踪,防冻和电阻加热器	EV	可调速驱动器
EJ	终端/连接盒	EW	布线和电缆
EK	400 V 负荷中心	EX	油漆
EL	照明设备	EY	电气专用设备,交流和直流电气贯穿件
EM	交流电机	EZ	开关站设备/子站设备

表 1-2-2 直流电气两字编码

类型码	设备类型	类型码	设备类型
DA		DN	绝缘/防火
DB	电池	DP	
DC	电池充电器	DQ	
DD	220/250 V 直流配电盘	DR	电缆路径
DE		DS	直流配电盘和开关装置
DF	保险丝转换开关盒	DT	绝缘/调节变压器
DG		DU	逆变器和不间断供电电源
DH		DV	电池监测装置
DJ	终端/接线盒	DW	布线和电缆
DK	直流电机控制中心	DX	油漆
DL		DY	电气专用物项
DM	直流电机	DZ	



表 1-2-3 电气功能编码

代 码	功 能	代 码	功 能	代 码	功 能
01	主要元件	32	功率方向继电器	63	压力开关
02	延时启动	33	位置开关	64	接地保护继电器
03	校验/连锁继电器	34	主程序元件	65	调速器
04	主接触器	35	电刷/滑环短路元件	66	多级式启动元件
05	停机元件	36	极性/极化电压元件	67	交流方向过流继电器
06	启动断路器	37	欠电流/低功率继电器	68	闭锁继电器
07	阳极断路器	38	轴承保护元件	69	许可控制元件
08	操作电源切断元件	39	机械工况监视器	70	变阻器
09	反向元件	40	励磁继电器	71	液位开关
10	单元顺序开关	41	励磁断路器	72	直流断路器
11	保留备用	42	运行断路器	73	负荷电阻接触器
12	超速元件	43	手动转换/选择元件	74	报警继电器
13	同步速度元件	44	单元顺序启动继电器	75	位置变换机构
14	欠速元件	45	大气条件监视器	76	直流过流继电器
15	速度/频率匹配元件	46	负序相/相平衡电流继电器	77	脉冲发射器
16	保留备用	47	相序电压继电器	78	相角测量/不间断保护继电器
17	分路或放电开关	48	操作顺序不全继电器	79	交流重合闸继电器
18	加速/减速元件	49	电机/变压器温度继电器	80	流量开关
19	启动-运转转换接触器	50	电流速断/上升率继电器	84	操作机构
20	电气操作阀	51	交流时限过流继电器	85	载流/电缆附线接收继电器
21	距离继电器	52	交流断路器	86	闭锁继电器/出口继电器/连锁继电器
22	均衡电流继电器	53	励磁机/直流发电机继电器	87	差动保护继电器
23	温度控制元件	54	保留备用	88	辅助电动机/电动发电机组
24	保留备用	55	功率因数继电器	89	线路开关
25	同期/同期监测装置	56	励磁施加继电器	90	调节元件
26	设备热元件	57	短路/接地元件	91	电压方向继电器
27	低电压继电器	58	整流故障继电器	92	电压与功率方向继电器
28	火焰探测器	59	过电压继电器	93	磁场变化接触器
29	隔离接触器	60	电压/电流平衡继电器	94	跳闸/自动跳闸继电器
30	信号继电器	61	保留备用	95	仅适用于在个别安装中 1~94 编码均不适用时的特殊使用
31	分励元件	62	延时停止/开启继电器		